



(19)

(11) Publication number: **2000105125 A**

Generated Document.

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**(21) Application number: **10291484**(51) Intl. Cl.: **G01C 19/56 G01P 9/04**(22) Application date: **28.09.98**

(30) Priority:

(43) Date of application  
publication: **11.04.00**(84) Designated contracting  
states:(71) Applicant: **MURATA MFG CO LTD**(72) Inventor: **YACHI KANEO**

(74) Representative:

**(54) ANGULAR VELOCITY  
MEASURING APPARATUS**

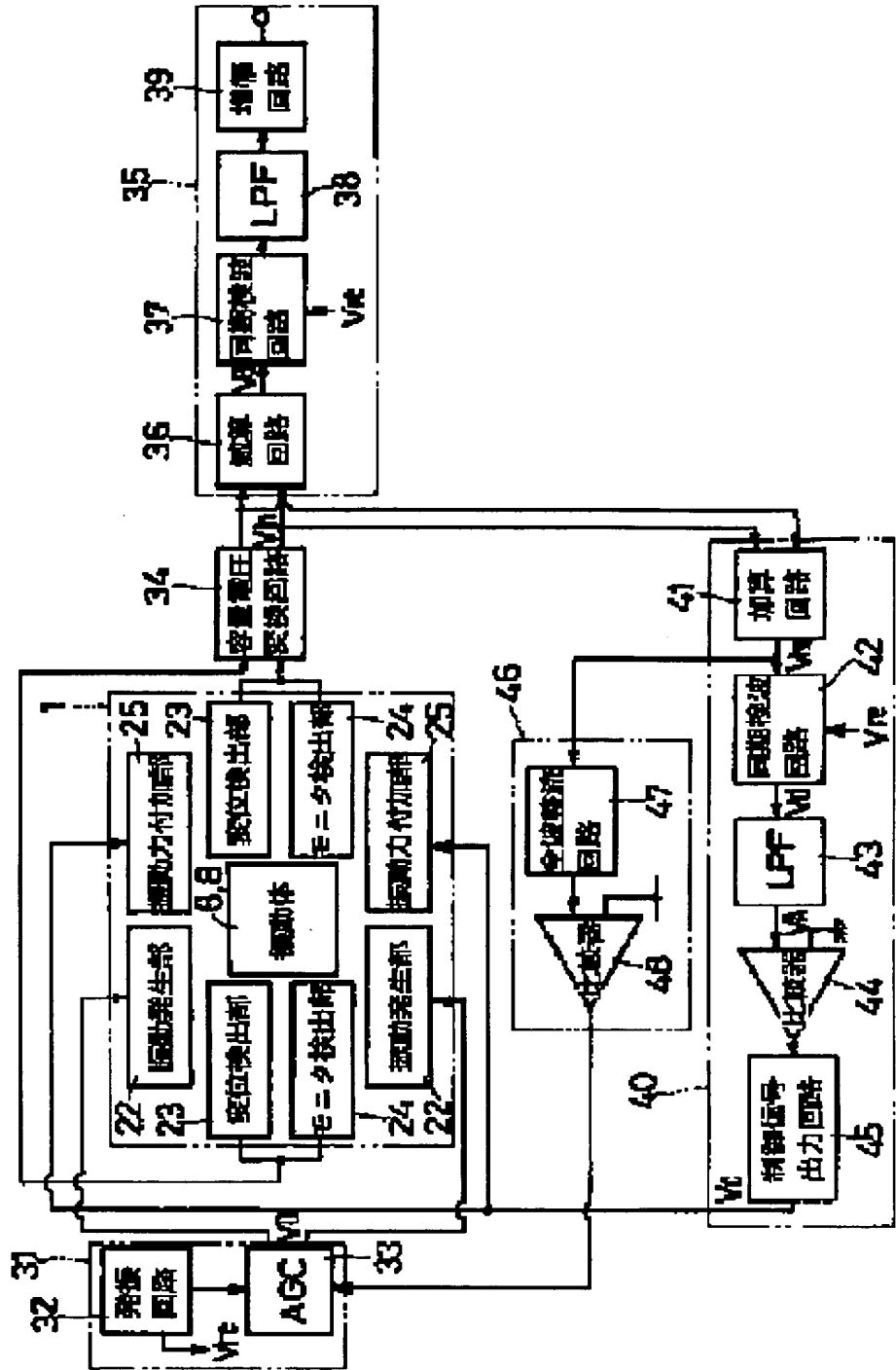
(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To regulate the natural oscillation frequency of a vibrator based on a monitor signal by detecting the displacement of the vibrator by the monitor signal.

**SOLUTION:** A detection signal  $V_{in}$  output from a displacement detector 23, a monitor detector 24 via a capacity-voltage converter 34 is input to an adder 41 of a vibrating mode controller 40, and only a monitor signal  $V_m$  is taken out. A synchronous detector 42 detects the signal  $V_m$  via a reference signal  $V_{re}$  of a drive signal  $V_D$ , and outputs a control signal  $V_c$  in which an output signal  $V_A$  becomes zero via an LPF 43 and a comparator 44 to a vibrating force additional unit 25. Thus, the natural oscillation frequency of a vibrator 6 is regulated, the vibrator 6 is vibrated in a resonance state, and hence the detecting sensitivity of an

angular velocity to be applied to an angular velocity sensor 1 is enhanced.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-105125

(P2000-105125A)

(43) 公開日 平成12年4月11日 (2000.4.11)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

7-7コード (参考)

G 0 1 C 19/56

G 0 1 C 19/56

2 F 1 0 5

G 0 1 P 9/04

G 0 1 P 9/04

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平10-291484

(22) 出願日 平成10年9月28日 (1998.9.28)

(71) 出願人 000006231

株式会社村田製作所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

(72) 発明者 矢地 兼雄

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式

会社村田製作所内

(74) 代理人 100079441

弁理士 広瀬 和彦

Fターム (参考) 2F105 BB02 CC04 CD03 CD05 CD11

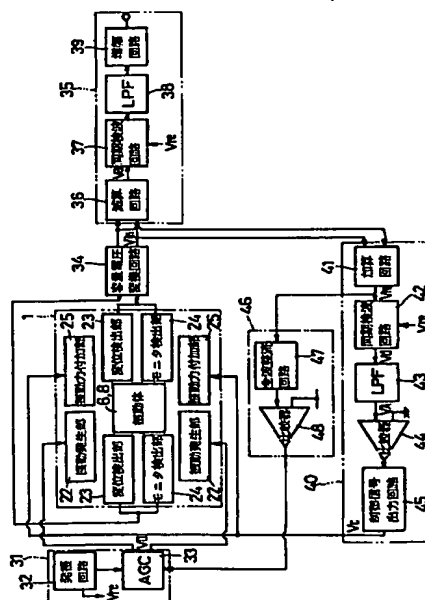
CD13 CD20

(54) 【発明の名称】 角速度計測装置

(57) 【要約】

【課題】 振動体の変位をモニタ信号によって検出し、このモニタ信号に基づいて振動体の固有振動数を調整する。

【解決手段】 変位検出部23、モニタ検出部24から容量電圧変換回路34を通して出力される検出信号 $V_{in}$ を振動モード制御部40の加算回路41に入力し、モニタ信号 $V_m$ のみを取出す。同期検波回路42では、モニタ信号 $V_m$ を駆動信号VDの参照信号 $V_{ref}$ によって検波し、LPF43、比較器44を通して出力信号VAが零になる制御信号 $V_c$ を振動力付加部25に出力する。これにより、振動体6の固有振動数を調整し、共振状態で振動させ、角速度センサ1に加わる角速度の検出感度を高める。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 支持部と、該支持部に結合している梁によって支持された振動体と、該振動体を一方向に振動させる振動発生手段と、該振動発生手段によって一方向に振動する振動体の変位をモニタ信号として検出するモニタ検出手段と、前記振動体を振動させた状態で角速度が作用したときに発生するコリオリ力に基づく振動体の変位を検出する変位検出手段と、前記振動体の振動周波数を調整する周波数調整手段と、前記モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に基づいて該周波数調整手段を制御し、前記振動体を共振状態にする振動モード制御手段とから構成してなる角速度計測装置。

【請求項 2】 基板と、該基板に第 1 の支持梁によって支持され、直交する 3 軸のうち第 1 の軸方向に振動可能に設けられた第 1 の振動体と、該第 1 の振動体に第 2 の支持梁によって支持され、第 2 の軸方向に振動可能に設けられた第 2 の振動体と、前記第 1 の振動体を第 1 の軸方向に振動させる振動発生手段と、該振動発生手段によって第 1 の軸方向に振動する振動体の変位をモニタ信号として検出するモニタ検出手段と、前記第 1 の振動体と第 2 の振動体に第 1 の軸方向に振動を与えている状態で第 3 の軸回りに角速度が加わったとき前記第 2 の振動体に生じる第 2 の軸方向への変位を検出する変位検出手段と、前記第 1 の振動体が第 1 の軸方向に振動しているときの固有周波数を調整する周波数調整手段と、前記モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に基づいて該周波数調整手段を制御し、前記振動体を共振状態にする振動モード制御手段とから構成してなる角速度計測装置。

【請求項 3】 前記振動モード制御手段は、前記モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に対して前記振動発生手段の駆動信号を参照信号として同期検波する同期検波手段と、該同期検波手段から出力される検波信号が零となるように、前記周波数調整手段に印加する直流電圧を制御する直流電圧制御手段とから構成してなる請求項 1 または 2 記載の角速度計測装置。

【請求項 4】 前記直流電圧制御手段は、前記モニタ検出手段から出力されるモニタ信号の位相が、前記振動発生手段から出力される駆動信号の位相に対して  $90^\circ$  異なるように、前記周波数調整手段に印加する直流電圧を制御する構成としてなる請求項 1 または 2 記載の角速度計測装置。

【請求項 5】 前記周波数調整手段は、前記振動体の端面に形成された可動側付加電極と、該可動側付加電極に対向して固定された固定側付加電極とによって構成し、該可動側付加電極の対向面と固定側付加電極の対向面とはそれぞれ鋸歯状に形成され、該各付加電極間に前記直流電圧制御手段から直流電圧を印加することにより、該付加電極間に静電引力を発生する構成としてなる請求項 3 または 4 記載の角速度計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば移動する物体、回転体等に作用する角速度を検出するのに用いて好適な角速度計測装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 一般に、従来技術による角速度計測装置に用いられる角速度センサとして、基板に対して第 1 の支持梁を介して支持された第 1 の振動体と、該第 1 の振動体に第 2 の支持梁を介して支持された第 2 の振動体とからなるものは知られている（特開平 5-312576 号公報等）。

【0003】 ここで、この従来技術に記載された角速度センサは、基板と、該基板に第 1 の支持梁によって支持され、直交する 3 軸のうち第 1 の軸方向に振動可能に設けられた第 1 の振動体と、該第 1 の振動体に第 2 の支持梁によって支持され、第 2 の軸方向に振動可能に設けられた第 2 の振動体と、前記第 1 の振動体を第 1 の軸方向に振動させる振動発生手段と、該振動発生手段によって前記第 1 の振動体と第 2 の振動体に第 1 の軸方向に振動を与えている状態で第 3 の軸回りに角速度が加わったとき前記第 2 の振動体に生じる第 2 の軸方向への変位を検出する変位検出手段とから構成されている。また、前記基板はガラス材料により形成され、該基板上に形成された部材はシリコン材料によって形成されている。

【0004】 さらに、前記第 1 の支持梁、第 1 の振動体、第 2 の振動体は、第 1 の軸方向へ振動する振動系を構成し、この振動系は振動側固有振動数を有している。一方、前記第 2 の支持梁、第 2 の振動体は、第 2 の軸方向へ振動する検出系を構成し、この検出系は検出側固有振動数を有している。

【0005】 ここで、この角速度センサでは、振動発生手段により第 1 の振動体を基板に対して平行な第 1 の軸方向に振動させると、該第 1 の振動体に第 2 の支持梁によって支持された第 2 の振動体も同一軸方向に振動する。この振動体が第 1 の軸方向に振動している状態で、計測装置全体が該基板と垂直な回転軸（第 3 の軸）を中心として角速度が作用すると、この角速度に応じたコリオリ力によって、第 2 の振動体は第 1 の振動体の振動方向と直交する方向（第 2 の軸方向）に振動される。そして、変位検出手段は、第 2 の振動体の振動時の変位を検出することにより、計測装置全体に加わった角速度の大きさを検出することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 ところで、上述した従来技術による角速度センサでは、その検出精度を高めるために、振動系の振動側固有振動数と、検出系の検出側固有振動数とを近づけるように設計している。

【0007】 一般に、ばね振動における固有振動数  $f$  は、下記の数 1 によって定義されている。

【0008】

【数1】

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}}$$

k：支持梁のばね定数

M：振動体の質量

【0009】ここで、従来技術による角速度センサでは、基板をガラス材料によって形成し、該基板上に設けられた部材をシリコン材料によって形成しているため、両材料は異なった熱膨張率を持っている。このため、周囲温度が上昇した場合、例えば基板に固定された第1の支持梁の部分では、基板側の伸びと、第1の支持梁、第1の振動体等の伸びとに差が発生する。

【0010】例えば、基板側のガラス材料の熱膨張率がシリコンよりも大きい場合には、基板の伸びが大きくなり、第1の支持梁には引張り応力が加わり、第1の支持梁のばね定数が高くなって、固有振動数が変化する。

【0011】この結果、角速度センサは、周囲温度の変化により第3の軸回りに加わる角速度の検出感度がばらついてしまい、角速度計測装置の信頼性を低下させてしまうという問題があった。

【0012】即ち、周囲温度が変化した場合、温度変化によって振動側固有振動数が変化する。これに対して検出側固定振動数はガラス基板に直接接合されていないため変化は小さい。このため、固有振動数の差が変化してしまい、角速度計測装置は、その検出感度がばらついてしまう虞れがある。

【0013】本発明は上述した従来技術の問題に鑑みなされたもので、本発明は振動体を常に共振状態で振動させることにより検出感度のばらつきをなくし、信頼性を高めることができる角速度計測装置を提供することを目的としている。

【0014】

【課題を解決するための手段】上述した課題を解決するために、請求項1の発明による角速度計測装置は、支持部と、該支持部に結合している梁によって支持された振動体と、該振動体を一方向に振動させる振動発生手段と、該振動発生手段によって一方向に振動する振動体の変位をモニタ信号として検出するモニタ検出手段と、前記振動体を振動させた状態で角速度が作用したときに発生するコリオリ力に基づく振動体の変位を検出する変位検出手段と、前記振動体の振動周波数を調整する周波数調整手段と、前記モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に基づいて該周波数調整手段を制御し、前記振動体を共振状態にする振動モード制御手段とから構成したことにある。

【0015】このように構成したことにより、振動発生手段に外部から駆動信号を入力すると、振動体は一方向に振動し、この状態で角速度が作用したときには振動体はコリオリ力によって一方向と直交する方向に変位

する。そして、変位検出手段では、この変位を検出することにより、角速度に対応した信号を得ることができる。

【0016】また、モニタ検出手段から出力されるモニタ信号は、振動発生手段によって一方向に振動する振動体の変位を検出している。そして、振動モード制御手段では、このモニタ信号に基づいて周波数調整手段を制御することにより、振動体の振動周波数を調整し、該振動体を共振状態で振動させることができ、振動体を一方向に大きな振幅で振動させることができる。

【0017】請求項2の発明では、基板と、該基板に第1の支持梁によって支持され、直交する3軸のうち第1の軸方向に振動可能に設けられた第1の振動体と、該第1の振動体に第2の支持梁によって支持され、第2の軸方向に振動可能に設けられた第2の振動体と、前記第1の振動体を第1の軸方向に振動させる振動発生手段と、該振動発生手段によって第1の軸方向に振動する振動体の変位をモニタ信号として検出するモニタ検出手段と、前記第1の振動体と第2の振動体に第1の軸方向に振動を与えている状態で第3の軸回りに角速度が加わったとき前記第2の振動体に生じる第2の軸方向への変位を検出する変位検出手段と、前記第1の振動体が第1の軸方向に振動しているときの固有周波数を調整する周波数調整手段と、前記モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に基づいて該周波数調整手段を制御し、前記振動体を共振状態にする振動モード制御手段とから構成したことにある。

【0018】このように構成したことにより、振動発生手段に外部から駆動信号を入力すると、第1の振動体と第2の振動体とは第1の軸方向に振動し、この状態で第3の軸回りに角速度が作用したときには第2の振動体はコリオリ力によって第2の軸方向に変位する。そして、変位検出手段では、この変位を検出することにより、角速度に対応した信号を得ることができる。

【0019】また、モニタ検出手段から出力されるモニタ信号は、振動発生手段によって第1の軸方向に振動する振動体の変位を検出している。そして、振動モード制御手段では、このモニタ信号に基づいて周波数調整手段を制御することにより、第1の軸方向に振動される第1の振動体と第2の振動体との固有周波数を調整し、該振動体を共振状態で振動させ、振動体を第1の軸方向に大きな振幅で振動させることができる。

【0020】請求項3の発明では、振動モード制御手段を、モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に対して振動発生手段の駆動信号を参照信号として同期検波する同期検波手段と、該同期検波手段から出力される検波信号が零となるように、周波数調整手段に印加する直流電圧を制御する直流電圧制御手段とから構成したことにある。

【0021】このように、同期検波手段から出力される

検波信号が、プラス側またはマイナス側の信号を出力している場合には、駆動信号に対するモニタ信号との位相差は $90^\circ$ になっていない。このため、直流電圧制御手段では、検波信号が零となるような直流電圧を周波数調整手段に向けて出力することにより、駆動信号に対するモニタ信号の位相差を $90^\circ$ に設定し、振動体を共振状態で振動させることができる。

【0022】請求項4の発明では、直流電圧制御手段を、モニタ検出手段から出力されるモニタ信号の位相が、振動発生手段から出力される駆動信号の位相に対し  
10 して $90^\circ$ 異なるように、周波数調整手段に印加する直流電圧を制御する構成としたことにある。

【0023】このように、駆動信号に対するモニタ信号の位相差をほぼ $90^\circ$ に設定することにより、振動体を共振状態で振動させることができる。

【0024】請求項5の発明では、周波数調整手段を、振動体の端面に形成された可動側付加電極と、該可動側付加電極に対向して固定された固定側付加電極とによって構成し、該可動側付加電極の対向面と固定側付加電極の対向面とはそれぞれ鋸歯状に形成され、該各付加電極  
20 間に直流電圧制御手段から直流電圧を印加することにより、該付加電極間に静電引力を発生する構成としたことにある。

【0025】このように、周波数調整手段では、該周波数調整手段に直流電圧を印加することにより、振動体を支持する梁のばね定数を見掛け上小さくし、振動体の固有周波数を低くすることができる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る角速度計測装置の実施の形態を、図1ないし図12を参照しつつ詳細  
30 に説明する。

【0027】図において、本発明の実施の形態による角速度計測装置は、後述する角速度センサ1と、該角速度センサ1に接続された後述の振動発生部31、角速度検出部35、振動モード制御部40、振幅調整部46等によって構成されている。

【0028】まず、図2ないし図8により、本実施の形態に用いられる角速度センサ1について説明する。

【0029】2は角速度センサ1の基台をなす矩形状に形成された基板で、該基板2は例えばガラス材料によっ  
40 て形成されている。

【0030】3は基板2上にP、S、Sb等がドーピングされた低抵抗なポリシリコン、単結晶シリコン等によって形成された可動部で、該可動部3は基板2の四隅に位置して該基板2上に設けられた4個の支持部4と、該各支持部4から基板2の中央部に向けY軸方向に延びる4本の第1の支持梁5と、該各第1の支持梁5によってX軸方向に変位可能に前記基板2の表面から離間した状態で支持され、長方形の枠状に形成された第1の振動体6と、第1の振動体6の短尺辺の中央から突出しX軸方  
50

向に延びる4本の第2の支持梁7と、該各支持梁7によってY軸方向に振動可能に設けられ、X軸方向に延びる中央辺8Aを有するH字状の第2の振動体8とからなる。

【0031】ここで、第1の支持梁5、第1の振動体6、第2の振動体8によって第1の軸方向となるX軸方向へ振動する振動系9を構成し、前記第2の支持梁7、第2の振動体8によって第2の軸方向となるY軸方向へ振動する検出系10を構成する。そして、前記振動系9は、第1の振動体6と第2の振動体8の質量と、第1の支持梁5のばね定数によって設定される振動側固有振動数 $f_1$ を有し、検出系10は、第2の振動体8の質量と、第2の支持梁7のばね定数によって設定される検出側固有振動数 $f_2$ を有している。

【0032】また、前記第1の振動体6には、左、右の長尺辺には後述する可動側振動電極11、11が突出形成され、上、下の短尺辺には可動側付加電極14、14が突出形成され、第2の振動体8の中央辺8Aの側面には上、下に向けて可動側検出電極12、12、可動側モニタ電極13、13が形成されている。

【0033】11、11は第1の振動体6の左、右の長尺辺に形成された可動側振動電極で、該各可動側振動電極11は7枚の電極板11Aをくし状に配置することによって構成されている。そして、該可動側振動電極11は後述する固定側振動電極16と共に振動発生部22を構成する。

【0034】12、12は後述する可動側モニタ電極13と共に可動側アンテナ状電極群を構成する2個の可動側検出電極で、該各可動側検出電極12は、第2の振動体8の中央辺8Aの側面に位置して上、下に向けて形成され、Y軸方向に延びる腕部12Aと、該腕部12Aに均等間隔で左右両側にそれぞれ3枚ずつ延びる電極板12Bとによって形成されている。

【0035】13、13は可動側モニタ電極で、該各可動側モニタ電極13は、中央辺8Aの左側に設けられ、可動側検出電極12と同様に、腕部13Aと、該腕部13Aの左側にのみ形成された3枚の電極板13Bとから構成されている。

【0036】14、14は第1の振動体6の上、下の短尺辺の側面に形成された可動側付加電極で、該各可動側付加電極14は、その対向面が鋸歯状の凹凸に形成され、後述する固定側付加電極21と共に振動力付加部25を構成している。

【0037】ここで、可動部3は、4個の支持部4によって基板2に固着されている。そして、可動部3を構成する第1の支持梁5、第1の振動体6、第2の支持梁7および第2の振動体8は、基板2から所定間隔を離間した状態にある。また、各第1の支持梁5はY軸方向に伸長しているからX軸方向に撓ませることにより、第1の振動体6をX軸方向に変位させ、各第2の支持梁7はX

軸方向に伸長しているからY軸方向に撓ませることにより、第2の振動体8をY軸方向に変位させることができる。

【0038】15、15は振動用固定部で、該各振動用固定部15は第1の振動体6を左右から挟むように基板2上に設けられている。そして、各振動用固定部15には、固定側振動電極16が設けられ、該固定側振動電極16は、可動側振動電極11の各電極板11Aと隙間をもって交互に対面するように、振動用固定部15に突出形成された6枚の電極板16Aからなる。

【0039】17、17は検出用固定部で、該各検出用固定部17は第2の支持梁7と第2の振動体8との空間内に位置した基板2上に設けられている。

【0040】18、18は後述する固定側モニタ電極19と共に固定側アンテナ状電極群を構成する多数個の固定側検出電極で、該各固定側検出電極18は、検出用固定部17の内側の側面から上、下方向に延びる腕部18Aと、可動側検出電極12の各電極板12Bと隙間をもって交互に対面するように、該各腕部18Aから内側に向けて突出形成された3枚の電極板18Bとから構成される。

【0041】19、19は固定側モニタ電極で、該各固定側モニタ電極19は、検出用固定部17の左側に設けられ、上、下方向に延びる腕部19Aと、可動側モニタ電極13の各電極板13Bと隙間をもって交互に対面するように、該各腕部19Aから内側に向けて突出形成された3枚の電極板19Bとから構成されている。

【0042】20、20は付加用固定部で、該各付加用固定部20は第1の振動体6を上下から挟むように基板2上に設けられている。そして、各付加用固定部20には、固定側付加電極21が設けられ、該固定側付加電極21は、可動側付加電極14と隙間をもって対面するように、鋸歯状の凹凸に形成されている。

【0043】22、22は振動発生部で、該各振動発生部22は可動側振動電極11と固定側振動電極16とによって構成され、該可動側振動電極11の各電極板11Aと、固定側振動電極16の各電極板16Aとの間にはそれぞれ等しい隙間が形成されている。ここで、可動側振動電極11と固定側振動電極16との間に逆位相となる周波数 $f_0$ のパルス波または正弦波等の駆動信号VDを後述する駆動信号発生部31から印加すると、左、右に位置した電極板11A、16A間には静電引力が交互に発生し、各振動発生部22は近接、離間を繰り返す。これにより、各振動発生部22は、第1の振動体6、第2の振動体8等をX軸方向（第1の軸方向）に振動させる。

【0044】23、23は変位検出部で、該各変位検出部23は可動側検出電極12と固定側検出電極18とによって構成され、該可動側検出電極12の各電極板12Bと、固定側検出電極18の各電極板18Bとの間はそ

れぞれ離間している。

【0045】また、各変位検出部23は、初期時においては図6に示す状態にあり、可動側検出電極12を構成する電極板12Bと固定側検出電極18を構成する電極板18Bとを交互に対向させるとき、隣合う電極板12B、18Bの初期時の有効面積は $S_0$ となり、初期時の離間寸法は、隙間の狭い離間寸法 $d_0$ と隙間の広い離間寸法 $d_0'$ とが交互に位置した状態にある。この場合、第2の振動体8の中央辺8Aを挟んで上、下両側で、離間寸法 $d_0$ 、 $d_0'$ の離間関係は線対称となっている。

【0046】このため、変位検出部23は、隙間の狭い離間寸法 $d_0$ 側のみが平行平板コンデンサとして構成されている。この結果、Z軸回りに角速度が作用したときには、第2の振動体8がY軸方向に変位し、この変位を隙間の狭い方の離間寸法 $d_0$ による静電容量の変化として検出する。

【0047】24、24はモニタ検出部で、該各モニタ検出部24は、各変位検出部23のうち、左側に位置した可動側モニタ電極13と、検出用固定部17の左側に位置した固定側モニタ電極19とから構成され、後述する検出動作によって、振動体6、8のX軸方向への変位を検出すると共に、該モニタ検出部24は第2の振動体8のF方向への変位を検出する変位検出部23も兼ねている。

【0048】25、25は周波数調整手段としての振動力付加部で、該各振動力付加部25は可動側付加電極14と固定側付加電極21とから構成され、該可動側付加電極14と固定側付加電極21との間には左、右方向の全体にわたってほぼ均一な隙間が形成されている。

【0049】ここで、上下に位置した可動側付加電極14と固定側付加電極21との間に直流の制御信号 $V_c$ を印加すると、付加電極14、21間には静電引力が発生する。しかし、第1の振動体6は第1の支持梁5によってY軸方向への移動が規制され、X軸方向にのみ振動可能となっているから、振動力付加部25は、第1の振動体6がX軸方向に振動していないときには振動力は作用しない。一方、第1の振動体6がX軸方向に移動したときには、振動力付加部25では左右のバランスが崩れ、電極間の離間寸法が近づいた方の静電引力が増加する。このため、この静電引力がX軸方向の力として第1の振動体6に付加されるものである。

【0050】本実施の形態による角速度センサ1は、上述した如くに構成され、次にZ軸回りに角速度 $\Omega$ を加えた場合の基本的な検出動作について説明する。

【0051】まず、左右に位置した振動発生部22に逆位相となる駆動信号VDを印加する。このとき、各電極板11A、16A間の静電引力が左、右の振動発生部22、22に対して交互に作用し、第1の振動体6と第2の振動体8はX軸方向に振動する。この場合、各第1の支持梁5がX軸方向に撓むだけで、第2の支持梁7はX

軸方向には撓まないから、第2の振動体8もX軸方向にのみ振動する。

【0052】この状態で、Z軸（第3の軸）回りに角速度 $\Omega$ が加わると、Y軸方向（第2の軸方向）に下記の数2に示すコリオリ力 $F$ （慣性力）が発生する。

【0053】

【数2】  $F = 2m\Omega v$

$m$ ：第2の振動体8の質量

$\Omega$ ：角速度

$v$ ：第2の振動体8のX方向の速度

【0054】そして、このコリオリ力 $F$ によって、第2の振動体8はY軸方向に振動し、この第2の振動体8の振動変位を、各変位検出部23では、可動側検出電極12と固定側検出電極18との間の静電容量の変化として検出し、Z軸回りの角速度 $\Omega$ を検出することができる。

【0055】次に、図6ないし図8に基づいて、前述した変位検出部23とモニタ検出部24の検出動作について説明する。

【0056】まず、角速度センサ1が作動していない初期時について説明する。初期時には、各変位検出部23は、図6に示す状態にあり、可動側検出電極12を構成する電極板12Bと固定側検出電極18を構成する電極板18Bとを交互に対面させるとき、隣合う電極板12B、18Bの初期時の有効面積は $S_0$ となり、初期時の離間寸法は、隙間の狭い離間寸法 $d_0$ と隙間の広い離間寸法 $d_0'$ とが交互に位置した状態にある。

【0057】このため、初期時では、隙間の狭い離間寸法 $d_0$ による平行平板コンデンサの静電容量 $C_0$ と、同じく初期時において隙間の広い離間寸法 $d_0'$ による平行平板コンデンサの静電容量 $C_0'$ との関係は、下記数3のようになる。

【0058】

【数3】  $C_0 \gg C_0'$

【0059】このため、変位検出部23が作動していない初期時には、隙間の狭い離間寸法 $d_0$ 側のみが平行平板コンデンサとして構成されている。この結果、Z軸回りに角速度 $\Omega$ が作用したときには、第2の振動体8のY軸方向の変位を、隙間の狭い方の離間寸法 $d_0$ による静電容量の変化として検出する。

【0060】次に、図7に示すように、各振動発生部22に駆動信号 $VD$ を印加すると、振動体6、8はX軸方向に振動する。このとき、各変位検出部23の隣合う電極板12B、18Bの離間寸法 $d_0$ 、 $d_0'$ は変化せず、有効面積 $S_0$ のみが変化することになる。

【0061】ここで、例えば振動体6、8がX軸方向の右側に変位した場合について説明する。この場合、変位検出部23を構成する可動側検出電極12に注目すると、腕部12Aの左、右に位置した各電極板12Bでは、該各電極板12Bが対面する固定側検出電極18側の各電極板18Bの有効面積 $S_0$ は、腕部12Aの右側

では変化面積 $\Delta S_0$ だけ小さくなり、左側では変化面積 $\Delta S_0$ だけ大きくなる。

【0062】このため、腕部12Aの左、右における静電容量 $C$ は、一方では変化容量 $(-\Delta C_1)$ となり、他方では変化容量 $(+\Delta C_1)$ となって、1個の可動側検出電極12においてそれぞれ相殺されることになる。この結果、各検出用固定部17と第2の振動体8との間で検出される各変位検出部23は、第2の振動体8のX軸方向への振動による変位は検出していない。

10 【0063】一方、各モニタ検出部24についてみると、該各モニタ検出部24は、左側に位置した可動側モニタ電極13と固定側モニタ電極19によって形成されているから、図7のように矢示a軸方向に第2の振動体8が変位した場合には、中央辺8Aに対して上、下に位置した2つのモニタ検出部24は、どちらも有効面積 $S_0$ が変化面積 $\Delta S_0$ だけ減少した変化容量 $(-\Delta C_2)$ を検出する。このため、モニタ検出部24は、振動体6、8のX軸方向への変位に応じたモニタ信号 $V_m$ を出力する。この結果、各モニタ検出部24から出力されるモニタ信号 $V_m$ を後述する加算回路41で加算することにより、 $\{2 \times (-\Delta C_2)\}$ の2倍のモニタ信号 $V_m$ を検出することができる。

【0064】また、このような変位検出部23、モニタ検出部24の検出動作は、振動体6、8がX軸方向左側に変位した場合でも、ほぼ同様である。

【0065】次に、Z軸回りに角速度 $\Omega$ が作用した作動時について説明する。作動時には、各変位検出部23は、図8に示すように、第2の振動体8がF方向に変位する。このとき、各変位検出部23の隣合う電極板12B、18Bの有効面積 $S_0$ は変化せず、隙間の狭い離間寸法 $d_0$ のみを用いて、検出動作を行う。

【0066】ここで、例えば振動体8がY軸方向下側に変位した場合について説明する。この場合、中央辺8Aに対して上、下に位置した変位検出部23についてみると、まず上側の変位検出部23では、電極板12B、18B間の離間寸法 $d_0$ が変化寸法 $\Delta d_0$ だけ大きくなり、変化容量 $(-\Delta C_3)$ を検出する。一方、下側の変位検出部23では、電極板12B、18B間の離間寸法 $d_0$ が変化寸法 $\Delta d_0$ だけ小さくなり、変化容量 $(+\Delta C_3)$ を検出する。このため、変位検出部23は、角速度 $\Omega$ に応じた角速度信号 $V_a$ を出力する。この結果、各変位検出部23から出力される角速度信号 $V_a$ を後述する減算回路36で減算することにより、 $\{2 \times (-\Delta C_3)\}$ の2倍の角速度信号 $V_a$ を検出することができる。なお、各モニタ検出部24においては、変位検出部23と同様に動作し、角速度信号 $V_a$ を出力する。このため、各モニタ検出部24は、モニタ信号 $V_m$ を出力すると共に、角速度信号 $V_a$ も含んで出力するものである。

【0067】また、このような変位検出部23、モニタ



検出部24の検出動作は、振動体8がY軸方向上側に変位した場合でも、ほぼ同様である。

【0068】かくして、角速度センサ1においては、前述した如く、第2の振動体8の矢示a軸方向の振動を、各モニタ検出部24によって検出し、矢示F方向の変位を、各変位検出部23によって検出することができる。

【0069】次に、図5を参照しつつ、前述した振動力付加部25の動作について説明する。

【0070】まず、可動側付加電極14と固定側付加電極21との間に直流の制御信号Vc(基準電圧V0)を印加しておく。このとき、第1の振動体6は振動していないから、上、下に位置した振動力付加部25から発生する静電引力は、第1の振動体6の上、下を引っ張って釣り合っている。

【0071】ここで、振動発生部22、22によって振動体6、8に振動を与えると、可動側付加電極14と固定側付加電極21との離間寸法が左、右方向のうちのいずれかの方向に偏り、離間寸法が近づいた方の静電引力が増加する。そして、この静電引力の増加分がX軸方向に付加される力となり、この力は第1の振動体6にさらに加わってX軸方向に大きく振動させることができる。しかも、振動力付加部25によって付加される振動力は、第1の振動体6のX軸方向への変位幅に伴って大きくなって付加される。

【0072】このように、振動力付加部25は、第1の振動体6を大きく振動させることにより、第1の支持梁5のばね定数を見掛け小さくし、振動系9の振動側固有振動数f1を低くすることができる。そして、振動力付加部25は、電極14、21間に印加する直流の制御信号Vcを大きくすれば付加される振動力が大きくなり、振動系9の振動側固有振動数f1を低くすることができる。一方、振動力付加部25は、小さな制御信号Vcを印加すれば付加される振動力は小さくなり、振動側固有振動数f1を高くすることができる。

【0073】さらに、各振動力付加部25は、可動側付加電極14の対向面と固定側付加電極21の対向面とを鋸歯状の凹凸に形成しているから、対向する電極面が斜めになって対向している分だけ、X軸方向に振動する第1の振動体6の振幅を、振動力付加部25をくし状電極によって構成した場合に比べて、大きく確保することができる。

【0074】次に、図1によって、角速度センサ1を制御するための周辺回路について説明する。

【0075】31は駆動信号発生部で、該駆動信号発生部31は、所定の周波数f0を有する基準信号を発生する発振回路32と、該発振回路32から出力される基準信号と後述する振幅調整部46から出力される補正信号とを受け、振幅を調整した駆動信号VDを出力する自動利得調整回路33(以下、AGC33という)とから構成されている。また、発信回路32から出力される基準

信号によって参照信号Vreを後述する同期検波回路37、42に出力している。そして、駆動信号発生部31は、角速度センサ1の振動発生部22に駆動信号VDを出力する。

【0076】34は変位検出部23とモニタ検出部24との出力側に接続された容量電圧変換回路で、該容量電圧変換回路34は、角速度センサ1の基板2等に形成されるFET等の電子部品によって構成され、変位検出部23とモニタ検出部24とから検出される静電容量を電圧値に変換するものである。このため、容量電圧変換回路34は、変位検出部23、モニタ検出部24によるモニタ信号Vmと角速度信号Vaとを含んだ検出信号Vinを出力するものである。

【0077】35は角速度検出部で、該角速度検出部35は、容量電圧変換回路34から出力される2個の検出信号Vinを減算することにより、該各検出信号Vin中に含まれるモニタ信号Vmを除去して角速度信号Vaのみを出力する減算回路36と、該減算回路36から出力される角速度信号Vaを、駆動信号VDの参照信号Vreで検波する同期検波回路37と、該同期検波回路37の出力側に接続されたローパスフィルタ回路38(以下、LPF38という)と、該LPF38の出力側に接続され、オフセット補償を行う増幅回路39とから構成されている。そして、増幅回路39から出力される信号は、角速度センサ1のZ軸回りに作用する角速度Ωに対応したものとなる。

【0078】また、減算回路36は角速度センサ1から出力される各検出信号Vinを減算することにより、前述した如く、検出信号Vin中に含まれる変位検出部23の角速度信号Vaのみを出力する。なお、この信号は各変位検出部23から出力される角速度信号Vaを2倍にした値となっている。

【0079】40は振動モード制御部で、該振動モード制御部40は、角速度センサ1から出力される2個の検出信号Vinを加算することにより、該各検出信号Vin中に含まれる角速度信号Vaを除去してモニタ信号Vmを出力する加算回路41と、該加算回路41から出力されるモニタ信号Vmを駆動信号VDの参照信号Vreで検波する同期検波回路42と、該同期検波回路42から入力される検波信号Vdを直流化した出力信号VAに変換するローパスフィルタ回路43(以下、LPF43という)と、該LPF43の次段に接続された比較器44と、該比較器44の出力側に接続され、出力信号VAが零となるような直流の制御信号Vcを角速度センサ1の振動力付加部25に印加する制御信号出力回路45とから構成されている。また、制御信号出力回路45には基準電圧V0が入力され、該制御信号出力回路45から出力される制御信号Vcをオフセットしている。

【0080】ここで、加算回路41は、角速度センサ1から出力される各検出信号Vinを加算することにより、

前述した如く、検出信号 $V_{in}$ 中に含まれるモニタ検出部24によるモニタ信号 $V_m$ を出力する。このため、この信号は各モニタ検出部24から出力されるモニタ信号 $V_m$ を2倍にした値となっている。

【0081】なお、本実施の形態では、同期検波回路42、LPF43および比較器44によって本発明による同期検波手段を構成し、制御信号出力回路45によって本発明による直流電圧制御手段を構成している。

【0082】46は振幅調整部で、該振幅調整部46は、加算回路41の出力側に接続された全波整流回路47と、該全波整流回路47の出力側に接続された比較器48とから構成され、該比較器48の出力側には駆動信号発生部31のAGC33に接続されている。そして、振幅調整部46は、振動体6、8がX軸方向に変位するときの変位量が常に一定の振幅となるように、AGC33に向けて補正信号を出力し、該AGC33では、駆動信号VDの振幅を調整するようにしている。

【0083】本実施の形態では、角速度センサ1の振動力付加部25に印加される制御信号 $V_c$ を制御することにより、第1の支持梁5のばね定数を見掛け上変化させて振動系9の振動側固有振動数 $f_1$ を調整し、振動体6、8を共振状態で振動させるようにしたものである。

【0084】次に、角速度計測装置の動作を、図9に示す流れ図、図10ないし図12に示す特性線に基づいて説明する。

【0085】まず、ステップ1では、駆動信号発生部31から周波数 $f_0$ の駆動信号VDを角速度センサ1の各振動発生部22に出力し、ステップ2では、周波数 $f_0$ で振動体6、8を矢示X軸方向に振動させる。

【0086】このように振動体6、8を矢示X軸方向に振動させた状態で、角速度センサ1にZ軸回りに角速度 $\Omega$ が作用すると、第2の振動体8はコリオリ力を受けて矢示F方向に変位する。

【0087】次に、ステップ3では、角速度センサ1の第2の振動体8に対して上、下に位置した変位検出部23（モニタ検出部24）から容量電圧変換回路34を通して出力される2個の検出信号 $V_{in}$ を読み込み、ステップ4では、読込んだ各検出信号 $V_{in}$ を角速度検出部35に入力することにより、該角速度検出部35からは第2の振動体8のF方向への変位を示す角速度信号 $V_a$ を出力する。

【0088】ここで、角速度信号 $V_a$ は、第2の振動体8のコリオリ力によるF方向の変位のみを検出しているもので、角速度センサ1に加わる角速度 $\Omega$ の大きさに対応するものである。

【0089】さらに、ステップ5では、読込んだ各検出信号 $V_{in}$ を駆動モード制御部40に入力することにより、該駆動モード制御部40の加算回路41からは第2の振動体8のX軸方向への振動のみを示すモニタ信号 $V_m$ を出力する。

【0090】ステップ6では、同期検波回路42によってモニタ信号 $V_m$ を参照信号 $V_{re}$ によって同期検波して検波信号VDを出力し、ステップ7ではこの検波信号VDをLPF43で直流化した出力信号VAを得る。

【0091】さらに、ステップ8では、比較器44で、出力信号VAが零か否かを判定し、「YES」と判定した場合には、モニタ信号 $V_m$ と駆動信号VDとの位相差が $90^\circ$ であり、第2の振動体8が共振状態で振動しているから、ステップ1に戻り、基準電圧 $V_0$ に設定した制御信号 $V_c$ を振動力付加部25に出力する処理を行う（図10参照）。

【0092】一方、ステップ8で「NO」と判定した場合には、モニタ信号 $V_m$ と駆動信号VDとの位相差が $90^\circ$ よりもずれ、第2の振動体8は共振状態からずれた振動を行っているから、ステップ9に移る。

【0093】ステップ9では、出力信号VAが零より大きいかなんかを判定し、「NO」と判定した場合には、位相差が $90^\circ$ よりも進んでいるから、ステップ10のように、制御信号 $V_c$ を $(V_0 + VA)$ として設定し、ステップ1に戻り、 $(V_0 + VA)$ に設定した制御信号 $V_c$ を振動力付加部25に出力する処理を行う（図11参照）。

【0094】また、ステップ9で「YES」と判定した場合には、位相差が $90^\circ$ よりも遅れているから、ステップ11のように、制御信号 $V_c$ を $(V_0 - VA)$ として設定し、ステップ2に戻り、 $(V_0 - VA)$ に設定した制御信号 $V_c$ を振動力付加部25に出力する処理を行う（図12参照）。

【0095】このように、振動モード制御部40では、同期検波回路42によって、加算回路41から出力されるモニタ信号 $V_m$ を参照信号 $V_{re}$ で同期検波することにより、駆動信号VDとモニタ信号 $V_m$ との位相差に対応した検波信号VDを求める。そして、LPF43でこの検波信号VDを直流化し、比較器44では、この直流化した出力信号VAが零であるかなんかを判定する。

【0096】これにより、駆動信号VDとモニタ信号 $V_m$ との位相差が $90^\circ$ になっているかなんかを判定し、角速度センサ1の振動体6、8が共振状態で振動しているかなんかを判定する。

【0097】ここで、振動体6、8が共振状態で振動していない場合には、振動モード制御部40によって、該振動体6、8が共振状態で振動するような制御信号 $V_c$ を設定し、角速度センサ1の振動力付加部25に印加する。そして、該振動力付加部25では、この制御信号 $V_c$ を受けて、第1の支持梁5のばね定数を見掛け上変化させて振動系9の振動側固有振動数 $f_1$ を調整し、この振動側固有振動数 $f_1$ と駆動信号VDの周波数 $f_0$ とを自動的に合わせるようにしている。

【0098】この結果、角速度センサ1では、振動体6、8を共振状態で振動させることができ、該振動体

6, 8をX軸方向に大きな振幅で振動させ、当該角速度計測装置の検出感度を高めることができる。

【0099】しかも、経時劣化等により角速度センサ1の振動側固有振動数 $f_1$ が変化した場合であっても、振動力付加部25に印加される制御信号 $V_c$ を、振動モード制御部40によって制御することにより、常に振動体6, 8を共振状態で振動させることができ、当該角速度計測装置の信頼性を高めることができる。

【0100】また、実施の形態による角速度計測装置では、駆動信号発生部31等の周辺回路に温度変化や経時劣化等が発生し、機械的な振動側固有振動数 $f_1$ が変化した場合でも、振動力付加部25の静電引力（振動力）を制御信号 $V_c$ で制御することにより、振動体6, 8を一定の振幅で振動させることができ、角速度計測装置の信頼性をより高めることができる。

【0101】しかも、振幅調整部46によって、振動体6, 8がX軸方向に変位するときの変位量が常に一定の振幅となるように制御しているから、角速度 $\Omega$ の検出感度を常に一定にすることができ、さらに信頼性を高めることができる。

【0102】かくして、実施の形態による角速度計測装置では、第1の支持梁5のばね定数を見掛け上変化させる振動力付加部25に、モニタ信号 $V_m$ に基づいて得られる制御信号 $V_c$ を出力するようにしているから、振動体6, 8を共振状態にすることができる。この結果、角速度センサ1の振動体6, 8は、温度変化等が生じた場合でも、常に共振状態で矢示X軸方向に大きな振幅で振動させることができ、該角速度センサ1の検出感度を高めることができる。

【0103】なお、実施の形態では、変位検出部23にモニタ検出部24を含むように形成したが、本発明はこれに限らず、変位検出部23とモニタ検出部24とを別個に形成しても、一体形成してもよい。

【0104】また、駆動信号発生部31から出力される駆動信号 $V_D$ は正弦波として示したが、矩形波を駆動信号 $V_D$ として発生するものでもよく、要は駆動信号発生部31を電圧制御発振回路によって構成すればよい。

【0105】さらに、実施の形態では、振動力付加部25を構成する可動側付加電極14と固定側付加電極21の形状を鋸歯状の凹凸に形成するものとして述べたが、本発明はこれに限らず、くし状、アンテナ状の電極を用いて、これらを複数個設けるようにしてもよい。

【0106】

【発明の効果】以上詳述した如く、請求項1の発明によれば、振動発生手段によって一方向に振動する振動体の変位をモニタ信号として検出するモニタ検出手段と、前記振動体の振動周波数を調整する周波数調整手段と、前記モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に基づいて該周波数調整手段を制御し、前記振動体を共振状態にする振動モード制御手段とを設ける構成としたから、振

動モード制御手段では、モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に基づいて周波数調整手段を制御することにより、振動体の振動周波数を調整し、該振動体を一方向に大きな振幅で振動させる共振状態とすることができる。これにより、角速度が作用したときに発生するコリオリ力による振動体の変位を大きくし、角速度の検出感度を高めることができる。

【0107】請求項2の発明では、第1の軸方向に振動する振動体の変位をモニタ信号として検出するモニタ検出手段と、前記第1の振動体が第1の軸方向に振動しているときの固有周波数を調整する周波数調整手段と、前記モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に基づいて該周波数調整手段を制御し、前記振動体を共振状態にする振動モード制御手段とを設ける構成としたから、振動モード制御手段では、モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に基づいて周波数調整手段を制御することにより、第1の軸方向に振動される第1の振動体と第2の振動体との固有周波数を調整し、これらの振動体を第1の軸方向に大きな振幅で振動させる共振状態とすることができる。これにより、角速度の検出精度を向上させることができる。

【0108】請求項3の発明では、振動モード制御手段を、モニタ検出手段から出力されるモニタ信号に対して振動発生手段の駆動信号を参照信号として同期検波する同期検波手段と、該同期検波手段から出力される検波信号が零となるように、周波数調整手段に印加する直流電圧を制御する直流電圧制御手段とから構成したから、駆動信号に対するモニタ信号の位相差を $90^\circ$ に設定し、振動体を共振状態で振動させることができる。

【0109】請求項4の発明では、直流電圧制御手段を、モニタ検出手段から出力されるモニタ信号の位相が、振動発生手段から出力される駆動信号の位相に対して $90^\circ$ 異なるように、周波数調整手段に印加する直流電圧を制御する構成としたから、駆動信号に対するモニタ信号の位相差をほぼ $90^\circ$ に設定することにより、振動体を共振状態で振動させることができる。

【0110】請求項5の発明では、周波数調整手段を、振動体の端面に形成された可動側付加電極と、該可動側付加電極に対向して固定された固定側付加電極とによって構成し、該可動側付加電極の対向面と固定側付加電極の対向面とはそれぞれ鋸歯状に形成され、該各付加電極間に直流電圧制御手段から直流電圧を印加することにより、該付加電極間に静電引力を発生する構成としたから、周波数調整手段に直流電圧制御手段から直流電圧を印加することにより、振動体を支持する梁のばね定数を見掛け上小さくし、振動体の固有周波数を低くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る実施の形態による角速度計測装置を示す回路構成図である。

## 1 角速度センサ

## 2. 基板

### 3 可動部

#### 4 支持部

## 5 第1の支持梁

## 6 第1の振動体

## 7 第2の支持梁

## 8 第2の振動体

## 2.2 振動発生部（振動発生手段）

10 23 変位検出部 (変位検出手段)

## 24 モニタ検出部（モニタ検出手段）

## 2.5 振動力付加部（周波数調整手段）

#### 40 振動モード制御部（振動モード制御手段）

#### 4.1 加算回路

#### 4.2 同期検波回路（同期検波手段）

#### 4 3 ローパスフィルタ回路 (同期検波手段)

#### 4 4 比較器（同期検波手段）

#### 4 5 制御信号出力回路 (直流電圧制御手段)

VD 駆動信号

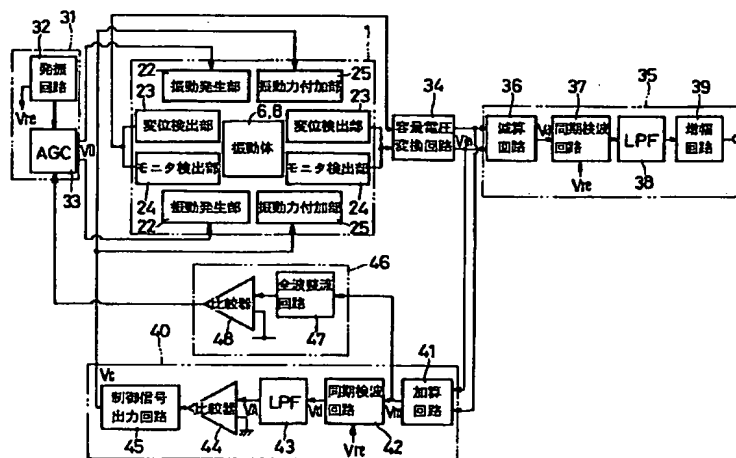
V<sub>re</sub> 参照信号

Va 角速度信号

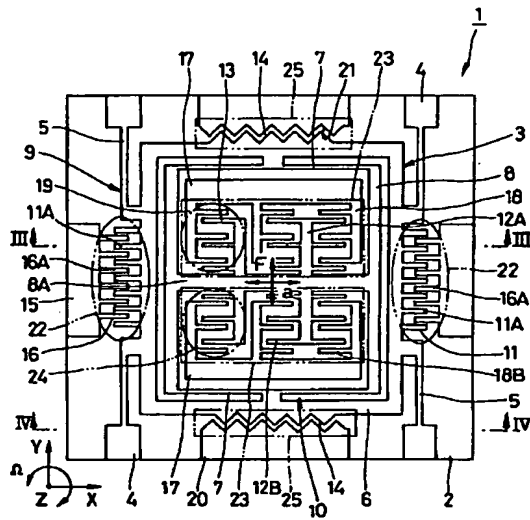
**V<sub>m</sub>**    毛二夕信号

Vc 制御信号 (直流電圧)

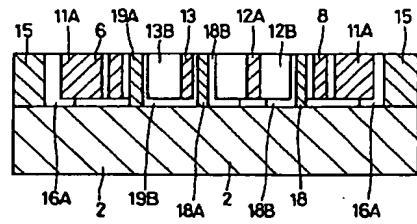
【图 1】



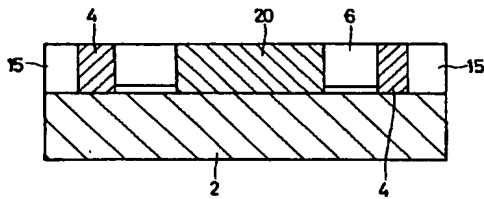
【図2】



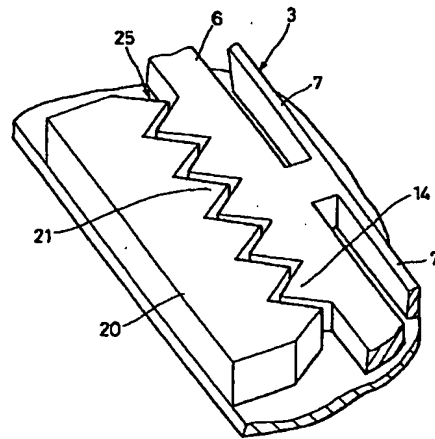
【図3】



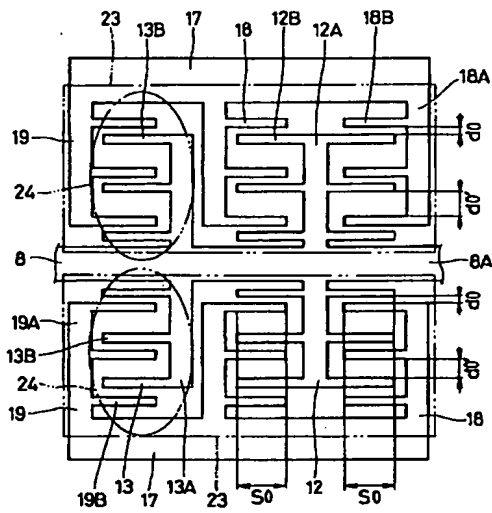
【図4】



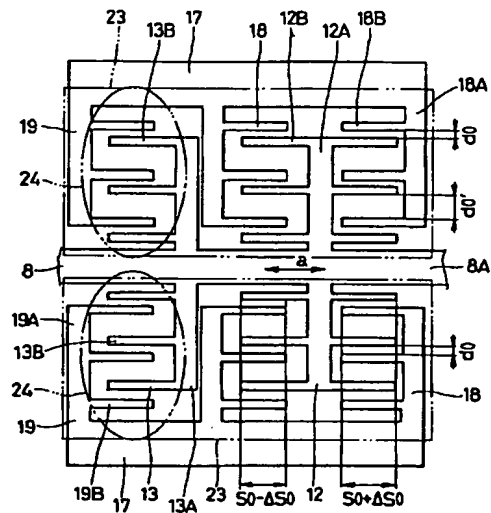
【図5】



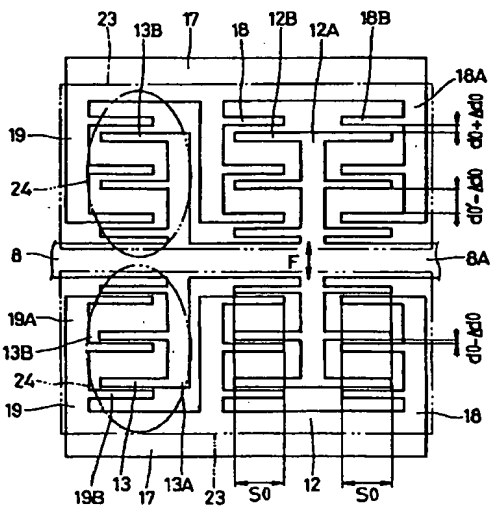
【図6】



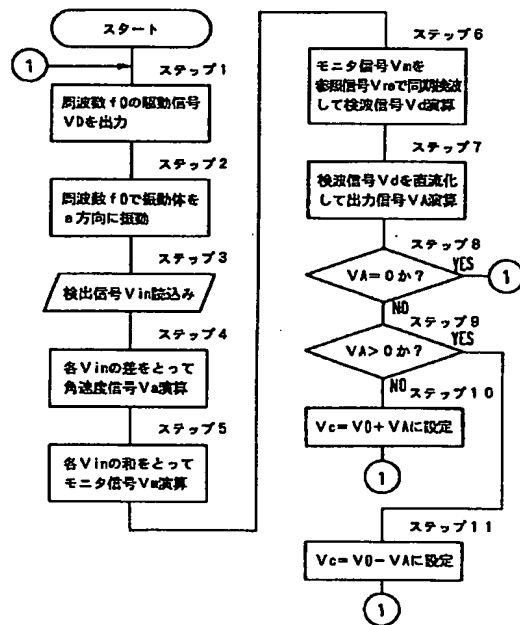
【図7】



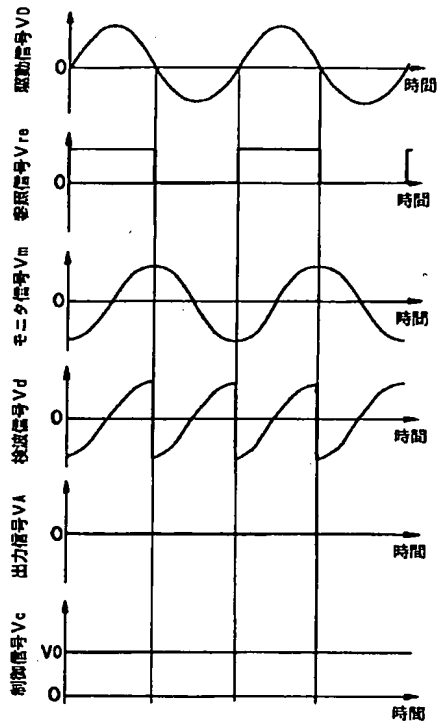
【図8】



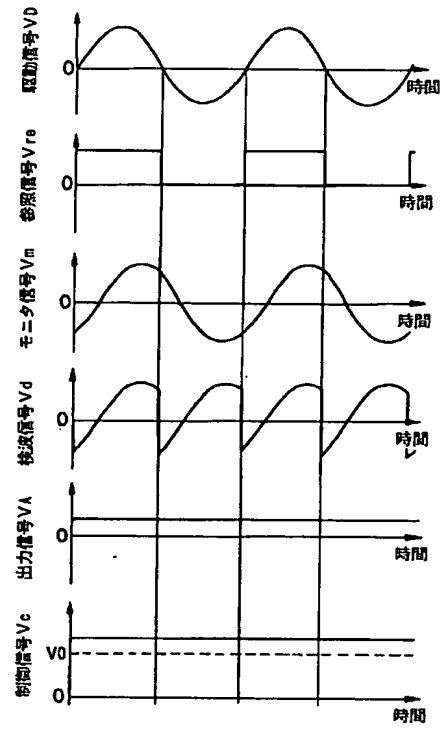
【図9】



【図10】



【図11】



【図12】

